



Universidade Federal do Ceará
Engenharia Elétrica
2010



Instrumentação Básica

Prof. Otacílio da Mota Almeida

Sumário

- 1 – Introdução à Automação Industrial
- 2 – Instrumentação para Automação Industrial

1.1 – Introdução à Automação Industrial

Uma planta industrial é um arranjo de unidades de processos (reatores, trocadores de calor, bombas, colunas de destilação, tanques, etc.), integrados de maneira racional e sistemática, cujo objetivo é converter matérias-primas em produtos desejados, usando diferentes fontes de energia, da maneira mais econômica.

Durante sua operação, a planta precisa satisfazer a diversos requisitos, impostos tanto pelo projeto e pela tecnologia adotada, quanto por influências externas (perturbações) de natureza ambiental, econômica e social.

DEE/CT/UFC – 2010

1.1.1 Segurança

A operação segura de um processo industrial é requisito primário para o bem-estar das pessoas envolvidas com a planta e a continuidade operacional da mesma. Desse modo, variáveis de processo, como pressões, temperaturas e concentrações de produtos devem ser mantidas sempre dentro de limites aceitáveis, ditados pelo projeto, pelos materiais empregados ou mesmo pelo estado de conservação da planta.

DEE/CT/UFC – 2010

1.1.2 Produção

Uma unidade industrial deve ser controlada, segundo um planejamento de produção, de modo a gerar cada um de seus produtos finais na quantidade desejada, no momento adequado e, ainda, satisfazendo as especificações de qualidade dos produtos.

DEE/CT/UFC – 2010

1.1.3 Proteção ambiental

As legislações ambientais têm sido cada vez mais restritivas com relação aos efluentes emitidos pelas indústrias. O correto manuseio de resíduos sólidos, a redução e o tratamento de gases e da água efluentes devem estar no mesmo nível de prioridade da segurança e da produção.

DEE/CT/UFC – 2010

1.1.4 Restrições operacionais

Os vários tipos de equipamentos usados nas plantas industriais têm restrições inerentes à operação de cada um deles, isto implica em manter variáveis operacionais dentro de limites.

Por exemplo, alguns tipos de bomba necessitam de pressão positiva na sucção, tanques podem transbordar, ou a temperatura de um reator catalítico não deve ultrapassar determinado limite superior para que o catalisador não seja destruído.

DEE/CT/UFC – 2010

1.1.5 Aspectos econômicos

A produção de uma planta deve ser adequada às condições de mercado, isto é, à disponibilidade de matéria-prima e à demanda de produtos finais. Assim, é requerido que as condições de operação sejam controladas em níveis ótimos, de mínimo custo operacional e máximo lucro.

DEE/CT/UFC – 2010

Monitoramento e intervenção contínua da operação da planta: uma necessidade!

Todos os requisitos apresentados anteriormente apontam para duas necessidades: a monitoração contínua da operação da planta e intervenções externas (controle) para garantir o atendimento ao plano de produção e a outros objetivos operacionais.

DEE/CT/UFC – 2010

Neste cenário, pode-se compreender a Automação Industrial como um conjunto de disciplinas que implementam os sistemas de monitoração e de controle de plantas industriais.

Tal implementação vai desde a concepção (projeto de controle) e a instalação, até o acompanhamento do desempenho operacional e eventuais reajustes “em linha”, ou seja, com a planta em operação.

DEE/CT/UFC – 2010

1.2 Monitoramento e Controle de Plantas de Processo

Automação industrial precisam atender tanto necessidades de controle de equipamentos quanto de produção e logística. Assim, devem compreender processos de produção em batelada e contínuos, e ainda, tratar variáveis discretas (estados) e contínuas pressões, temperaturas, vazões etc), em ambientes integrados.

Existem três classes de necessidades gerais a que os sistemas de controle devem atender:

1. Supressão de influências de perturbações externas
2. Garantia da estabilidade do processo
3. Otimização do desempenho da planta

DEE/CT/UFC – 2010

Eixo 1 – Controle e Otimização da Produção – Controle regulatório e avançado para unidades de processos industriais.

Eixo 2 – Gerenciamento de Movimentações e Otimização de Misturas – Monitoração e controle de estoques, movimentações de produtos e preparo de produtos por mistura.

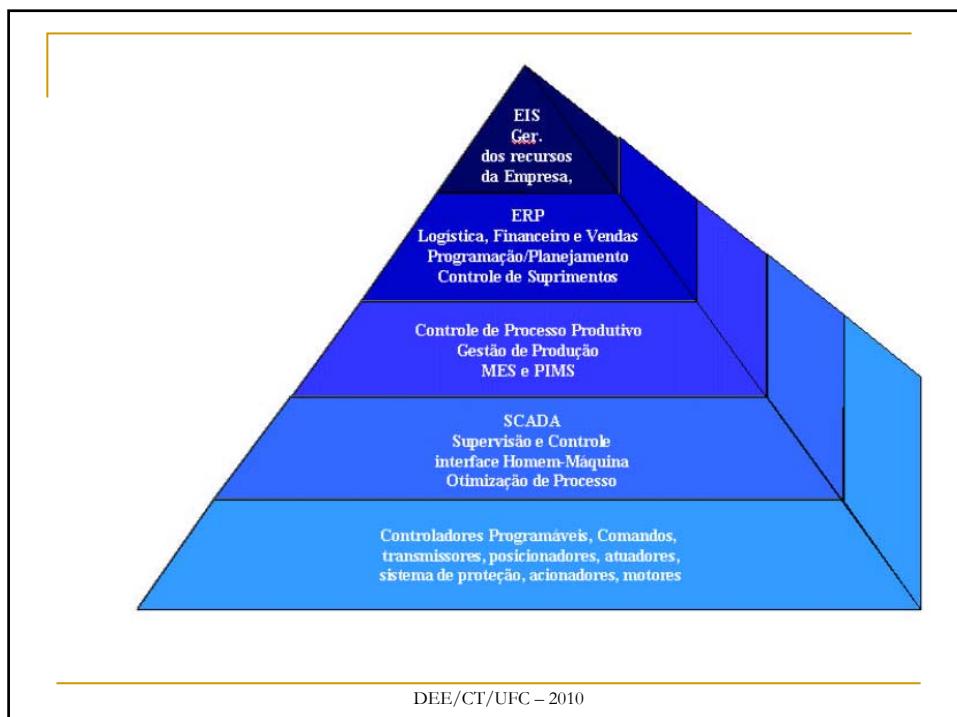
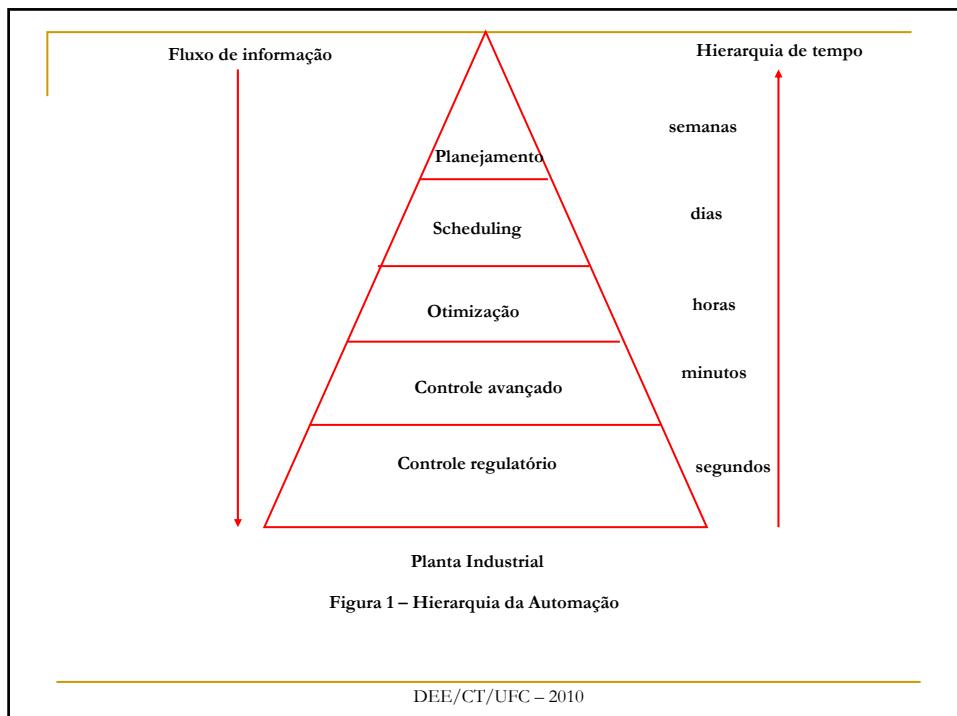
Eixo 3 – Automatização de Procedimentos e Integração Operacional.

Eixo 4 – Controle e Otimização de Energia – Controle regulatório e avançado para a área de geração de energia (principalmente elétrica).

Eixo 5 – Controle de Resíduos e Sistemas de Segurança.

Eixo 6 – Atividades de Apoio e Sistemas de Informação.

DEE/CT/UFC – 2010



Como resultado desta divisão, os sistemas associados à automação podem ser separados em cinco grupos:

1. Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD) e Computadores de Processo (CP);
2. Sistemas de Controle e Monitoração de Demanda Elétrica (SCMD);
3. Intertravamentos de Segurança;
4. Gerenciamento de Operações de Transporte e Armazenamento;
5. Bases de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão.

DEE/CT/UFC – 2010

1.3 SDCD (Sistemas Digitais de Controle Distribuído) e Computadores de Processo

Os SDCD são constituídos por três tipos de componentes interligados por uma ou mais vias de comunicação de dados, conforme a figura a seguir.

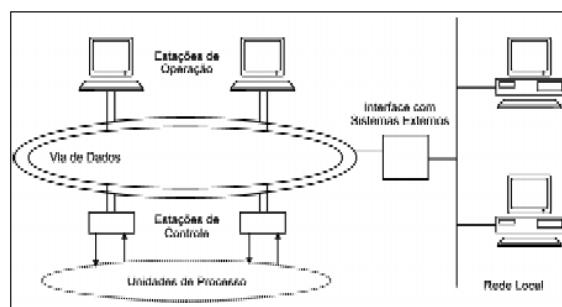


Figura 2 – Arquitetura típica de um SDCD.

DEE/CT/UFC – 2010

a) **Interface com o Processo** – É formada por Estações de Controle onde são implementadas as estratégias ou algoritmos de controle regulatório bem como, seqüenciamento de operações e monitoração de variáveis. Ela recebe e envia dados para os elementos primários finais de controle do processo.

b) **Interface com a Operação** – É composta por vídeo coloridos, teclados e impressoras. Através de telas dinâmicas, são trocadas informações com as estações de controle e com os computadores de processo.

c) **Interface com Sistemas Externos** – É um equipamento que permite o fluxo bidirecional de dados entre o SDCD e outro sistema. Este último pode ser um computador de processo, que executa cálculos avançados de controle, outro sistema de controle (como o SCMD), ou, ainda, uma plataforma de engenharia de onde se pode monitorar o desempenho dos sistemas e realizar ajustes de parâmetros em estratégias de controle.

DEE/CT/UFC – 2010

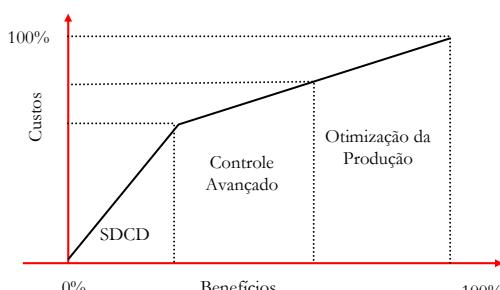


Fig 3 - Relação Custo/Benefício da Automação

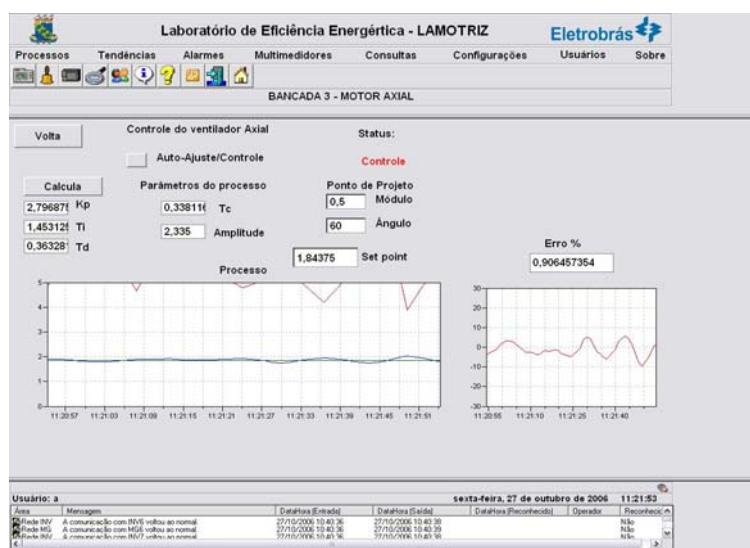
Os benefícios da implantação do SDCD são, basicamente, obtidos pela possibilidade de configuração de malhas de controle mais sofisticadas, maior facilidade de manutenção e ajuste de estratégias de controle, maior precisão da instrumentação digital e melhor análise do processo através da integração de informações que o sistema proporciona.

DEE/CT/UFC – 2010

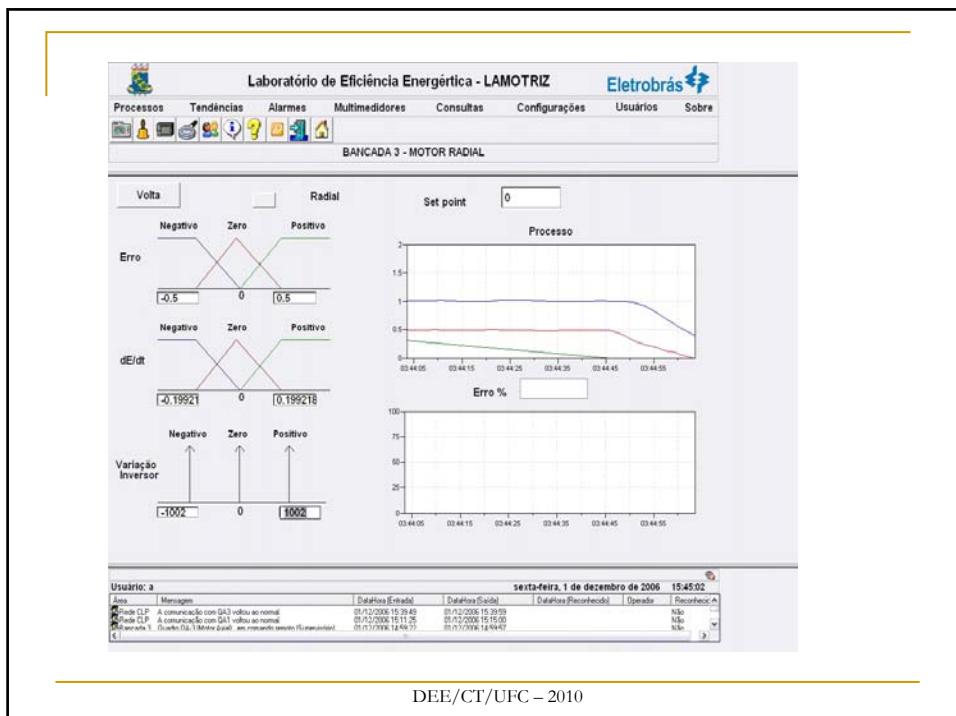
1.4 Principais malhas de controle

As ferramentas de configuração do SDCD são do tipo CAD (*Computer Aided Design*), isto é, as malhas ou estratégias de controle são montadas a partir da ligação de blocos funcionais, sem necessidade de uma linguagem de programação tradicional. Os fabricantes fornecem bibliotecas com uma ampla variedade de blocos, o que permite a configuração tanto de estratégias clássicas (controle de vazão ou de temperatura) quanto de malhas relativamente complexas, como controle antecipatório ou de saída não linear.

DEE/CT/UFC – 2010



DEE/CT/UFC – 2010



A figura seguinte, apresenta um exemplo de malha de controle clássico, juntamente com as definições de variáveis e nomenclatura adotadas em controle. É ilustrado um processo em que o líquido contido em um tanque é aquecido por meio de vapor. Suponha, por exemplo, que se deseje manter a temperatura do líquido em 80°C.

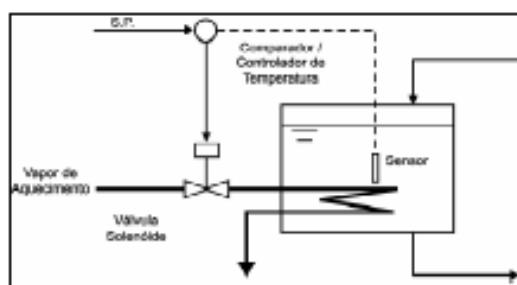


Figura 4 – Tanque com aquecimento a vapor.

DEE/CT/UFC – 2010

É importante familiarizar-se com a representação em diagrama de blocos, como o da figura a seguir, uma vez que esta é largamente utilizada na literatura de controle. São diagramas relativamente simples, cujos retângulos correspondem a elementos que transformam um sinal em outro. Assim, por exemplo, o retângulo “controlador” corresponde a um elemento que transforma o sinal de erro em sinal de saída para a válvula solenóide.

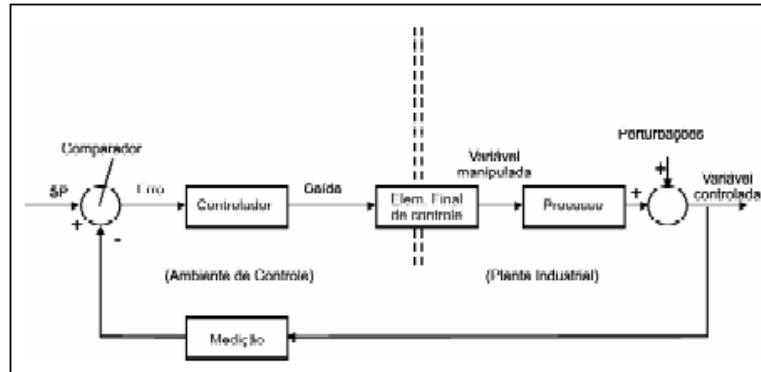


Figura 5 – Diagrama de blocos da malha.

DEE/CT/UFC – 2010

A figura a seguir mostra uma possível implementação da malha de controle num SDCD.

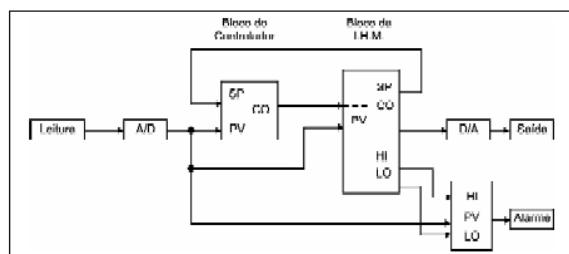


Figura 6 – Configuração da malha no CAD do SDCD.

DEE/CT/UFC – 2010

1.4.1 Características de malhas típicas

Malha de Controle de Vazão

Nesse caso, a variável manipulada é a própria variável controlada. A figura abaixo apresenta esta malha e sua representação em diagrama de blocos.

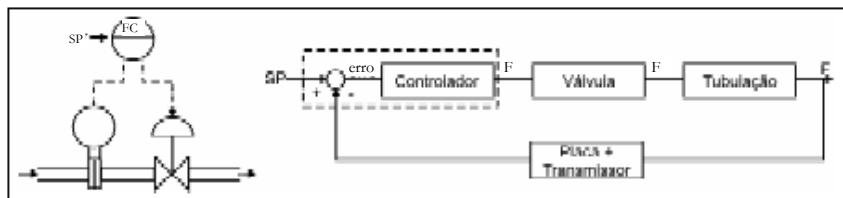


Figura 7 – Malha típica de controle de Vazão.

DEE/CT/UFC – 2010

Malha de Controle de Temperatura

Está sempre associada ao controle da transferência de energia no sistema, ou seja, a variável controlada é uma temperatura e a manipulada pode ser uma vazão de combustível, de fluido de aquecimento/resfriamento ou uma corrente elétrica.

DEE/CT/UFC – 2010

Malha de Controle de Pressão

As malhas de controle de pressão podem variar desde muito rápidas (Fig. 8a) até muito lentas (Fig. 8b). No primeiro caso, valem aproximadamente as regras das malhas de vazão. No outro, valem as regras das malhas de temperatura.

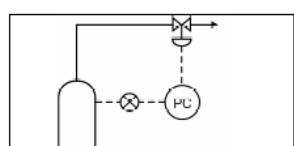


Figura 8a – Controle “direto”.

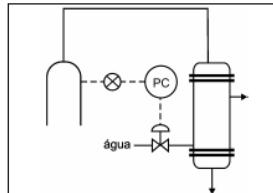


Figura 8b – Controle “indireto”.

DEE/CT/UFC – 2010

Pressão de Líquido

O controle de pressão de líquidos é exatamente igual ao controle de vazão. A única contribuição do processo corresponde à inércia do líquido.

Pressão de Gás (não em equilíbrio com o líquido)

Neste caso, o controle é relativamente simples. A entalpia (e, consequentemente, a temperatura) praticamente não depende da pressão, assim não existe interação entre temperatura e pressão. O sistema apresenta características de auto-regulação. Um aumento de pressão de um recipiente tende a impedir que mais gás entre e a forçar que mais gás saia.

Pressão de Vapor (equilíbrio líquido-vapor)

Neste sistema, a pressão do gás não é função apenas das vazões (balanço de massa), mas também das condições de equilíbrio e da temperatura (balanço de energia). Existe, portanto, uma interação com o líquido, fazendo com que o controle de pressão tenha características semelhantes ao de temperatura.

DEE/CT/UFC – 2010

Malha de Controle de Nível de Líquido

Existem duas categorias de controle de nível de líquidos:

- o nível é a variável importante do processo e deve ser mantido constante, como no exemplo da figura 9a, em que a reação depende do volume de líquido.

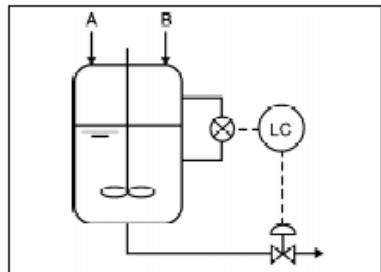


Figura 9a – Reator de mistura.

DEE/CT/UFC – 2010

- o nível é variável secundária, portanto deve ser mantido entre um valor máximo e um mínimo, absorvendo variações do processo (estratégia conhecida como *averaging control*). O tambor de topo da figura 9b é um exemplo deste tipo de controle, em que se deseja manter a vazão de destilado a mais estável possível.

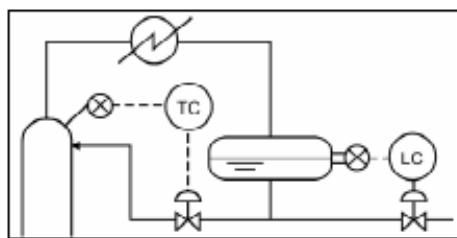


Figura 9b – Vaso de Topo de Coluna.

DEE/CT/UFC – 2010

1.4.2 Sistemas de Controle mais Complexos

Split Range ou Ação Dividida

Utilizado para os casos onde há a necessidade de mover duas válvulas a partir de um único controlador. Desse modo, a faixa de atuação do controlador é dividida entre dois elementos finais de controle, como por exemplo, no controle da pressão no vaso mostrado na figura a seguir.

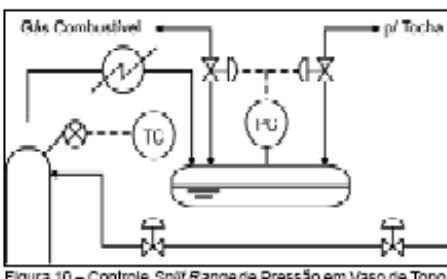


Figura 10 – Controle Split Range de Pressão em Vaso de Topo.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle em Cascata

Ao contrário da estratégia anterior, neste caso, há dois controladores para apenas um elemento final de controle. A saída do controlador **primário** é usada para ajustar o *setpoint* do controlador **secundário**, e este último é quem envia o sinal de controle para a válvula. O controle em cascata pode reduzir erros em mais de dez vezes quando comparado a um controlador único. Um exemplo típico é o sistema apresentado na figura abaixo.

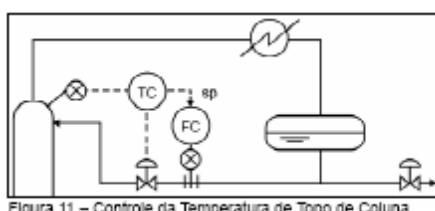


Figura 11 – Controle da Temperatura do Topo de Coluna.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle *Override*

Sistema que também emprega mais de um controlador para um mesmo elemento final de controle. É utilizado quando duas (ou mais) condições anormais podem existir em um processo. O comando do elemento final é feito pela condição anormal que estiver ativa.

Como exemplo de emprego desta estratégia, pode-se citar um modelo de conversor de Craqueamento Catalítico (Fig. 12a) ou um sistema de proteção de bombas colocadas em oleodutos (Fig. 12b).

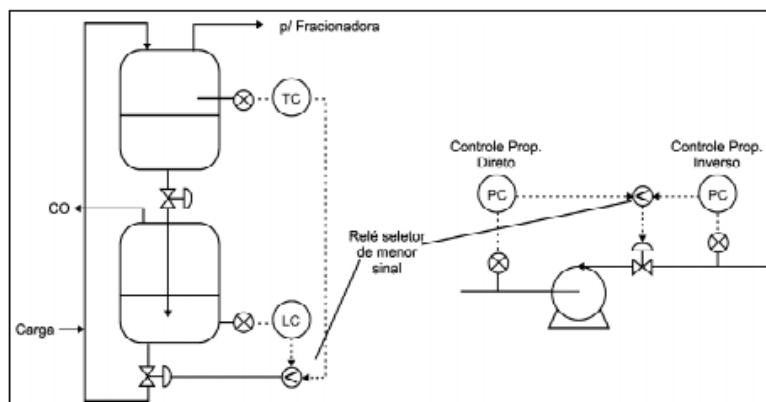


Figura 12a – Controle *Override* em Conversor de FCC.

Figura 12b – Controle *Override*, proteção da bomba.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle de Razão

Em muitos processos, há a necessidade de manter a vazão de um produto em proporção exata em relação à vazão de um outro. Um sistema de controle de razão permite obter esse efeito. Uma aplicação tradicional desta estratégia é o controle de Vazão de vapor de retificação em torres de destilação (conforme figura a seguir). Outro exemplo de aplicação é o controle da relação ar-gás ácido em unidades de recuperação de enxofre.

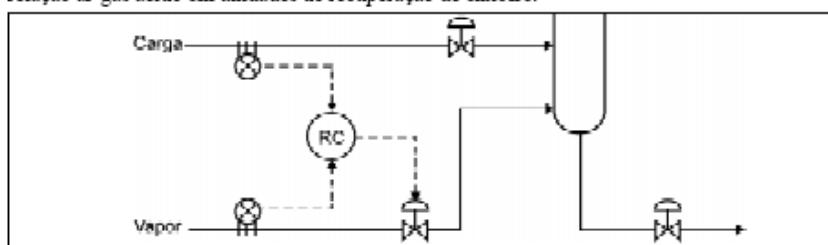


Figura 13 – Controle de Vapor de Retificação em Coluna.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle Antecipatório ou *Feedforward*

Alguns sistemas podem apresentar atrasos significativos entre perturbações na entrada e o aparecimento dos efeitos na variável controlada. Nesses casos, o controle convencional responde muito tarde à perturbação, tornando a malha de controle muito mais instável. Em controladores programáveis (SDCD), podem ser implementadas estratégias de controle de modo a antecipar os efeitos desses atrasos, que são, por isso, chamadas de **antecipatórias**. Só é possível o emprego de estratégias de controle antecipatório se as principais fontes e perturbação de um sistema puderem ser medidas e seus efeitos serem modelados, como no exemplo do Forno apresentado na abaixo.

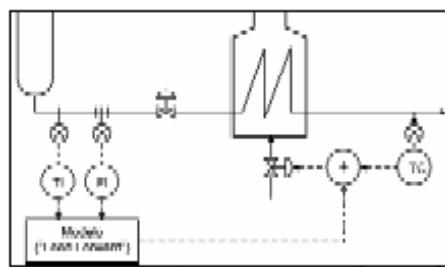


Figura 14 – Controle antecipatório para perturbações na vazão e na temperatura de entrada de um forno de processo.

DEE/CT/UFC – 2010

Variações na entrada deste forno são percebidas pelo controlador de temperatura de saída somente após alguns minutos, porém o modelo instalado envia para a malha de combustão, antecipadamente, um sinal de correção e as perturbações são absorvidas antes mesmo de chegarem ao sensor de temperatura de saída.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle com Limites Cruzados

Este tipo de controle é usado quando se precisa garantir que ao corrigir uma variável controlada, as variáveis manipuladas recebam sinal de controle sempre numa sequência segura. A estratégia fica mais clara quando se analisa sua aplicação mais típica, o controle de combustão em caldeiras e fornos (conforme figura a seguir).

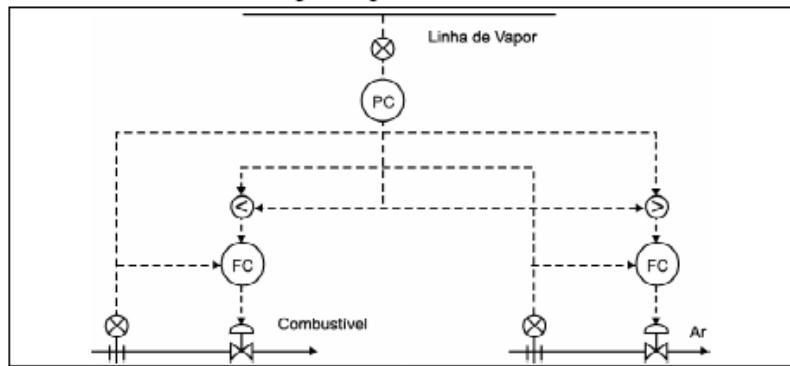


Figura 15 – Controle de Combustão em Fornos e Caldeiras.

A variável controlada é a pressão do vapor produzido. O sinal de saída do controlador de pressão é levado a dois seletores que também recebem sinais de vazão de combustível e ar. O objetivo é garantir sempre ar para a queima, assim, nos casos de subida de pressão, o controlador cortará primeiramente o combustível para depois reduzir a vazão do ar, enquanto que, nas quedas de pressão, o ar subirá antes do aumento de combustível.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle Adaptativo e Controle Inferencial

Ambas as estratégias dependem de sistemas de controle com capacidade de programação e, normalmente são programas de alguma complexidade. No **Controle Adaptativo**, os parâmetros do controlador são ajustados automaticamente de modo a compensar variações nas características do processo.

O **Controle Inferencial** é aplicado a processos em que existe um distúrbio que não pode ou não se quer medir, porém pode ser calculado (inferido) a partir de variáveis medidas. Atualmente está bastante difundido o controle inferencial como substituto de Analisadores em Linha, pois os mesmos apresentam altos custos iniciais e de manutenção. As figuras a seguir são os diagramas de blocos destes controles.

DEE/CT/UFC – 2010

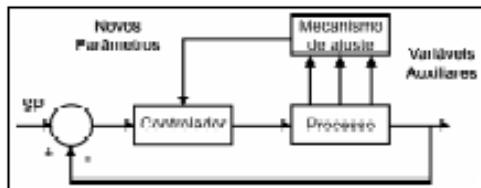


Figura 16 – Diagrama de blocos de um Sistema de Controle Adaptativo.

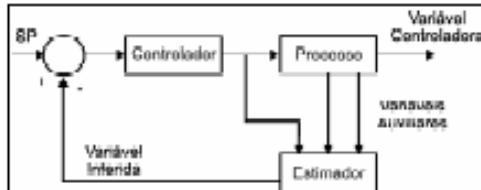


Figura 17 – Diagrama de blocos de um Sistema de Controle Inferencial.

DEE/CT/UFC – 2010

Controle Multivariável

Até este ponto foram apresentadas estratégias de controle que possuem apenas **uma** variável controlada pela atuação em **uma** variável manipulada de cada vez. Muitos processos apresentam muitas variáveis a serem controladas e dispõem de muitas variáveis para atuar, e ainda, como sempre, existem interferências entre todas estas variáveis (conforme figura a seguir); mais recentemente, vêm sendo desenvolvidos sistemas de controle que atuam ao mesmo tempo sobre um conjunto de variáveis, a fim de buscar a estabilidade de todo o elenco. Sistemas desse tipo são conhecidos por **Controles Multivariáveis**.

DEE/CT/UFC – 2010

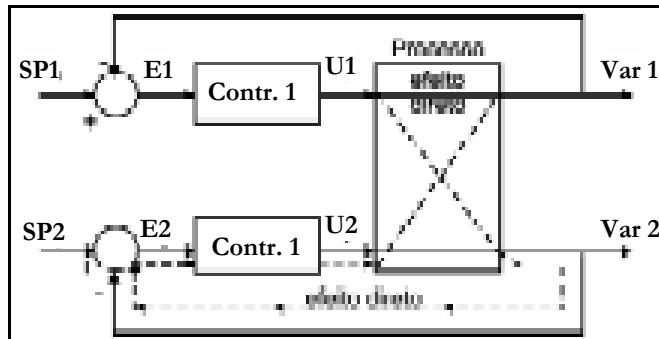


Figura 18 – Interações entre malhas de controle num sistema.

DEE/CT/UFC – 2010

As estratégias de controle multivariável podem ser agrupadas em dois tipos básicos, de acordo com a metodologia adotada para se eliminar as interferências entre malhas: as estratégias com desacoplamento externo, em que os efeitos das interações são modelados e somados externamente ao sinal de controle, de modo a compensar as interferências que surgirão no processo; e as estratégias com desacoplamento interno, que são programas de controle em que cada sinal de saída é uma combinação das ações de cada uma das variáveis monitoradas para aquele elemento final de controle (um exemplo clássico é a estratégia Matriz Dinâmica de Controle, DMC, de C.R. Cutler)

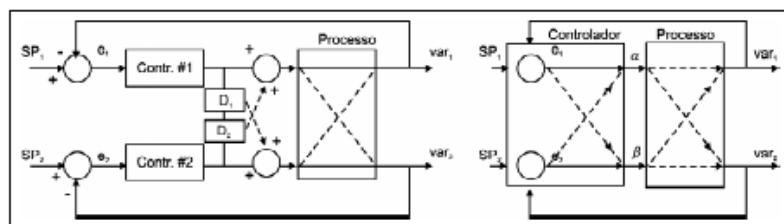


Figura 19 – Métodos de desacoplamento de interações entre malhas de controle.

DEE/CT/UFC – 2010

1.5 Sistemas de Intertravamento

As lógicas dos sistemas de intertravamento podem ser implementadas através de componentes discretos (por exemplo: relés, temporizadores e chaves elétricas), bem como por meio de equipamentos micro-processados (controladores lógicos programáveis – CLP ou equipamentos dedicados).

DEE/CT/UFC – 2010

1.6 SCMD

O SCMD é um conjunto de *hardware* (HW) e *software* (SW), que são conectados aos equipamentos da área elétrica (motores, geradores, transformadores, disjuntores, etc.), que se comunicam, entre si e com as estações de operação (IHM), através de uma via de comunicação de dados (VCD). O *hardware* de um SCMD é muito parecido com o do SDCL, alguns fabricantes inclusive usam o mesmo equipamento para ambas as funções. As diferenças são que as funções de controle configuradas no SCMD operam em tempos muito curtos. Existem funções de cálculo em que o tempo entre o evento inicializador e saída deve ser menor que 150 ms. Com relação às malhas de controle, o SDCL caracteriza-se pela existência de muitas malhas locais, já para o SCMD, as malhas das funções principais atuam em todos os controladores ao mesmo tempo exigindo grande tráfego de dados pela rede de comunicação. Os demais componentes, tais como entradas analógicas, entradas digitais e saídas analógicas e digitais são exatamente iguais a um SDCL.

DEE/CT/UFC – 2010

Instrumentação Básica

DEE/CT/UFC – 2010

1.1 Introdução à Instrumentação

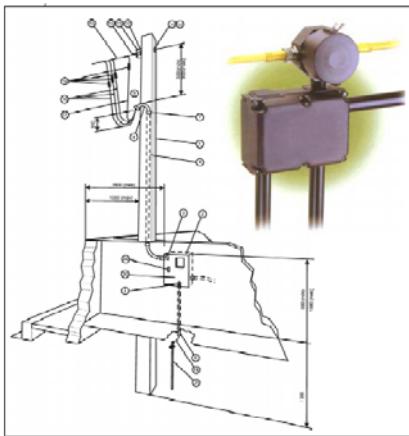
A instrumentação pode, então, ser definida como a ciência que aplica e desenvolve técnicas para medidas e controles em equipamentos e processos industriais.

Tomando-se como exemplo o sistema de medição de energia elétrica encontrado em residências, um instrumento que mede e registra a energia elétrica consumida durante um dado período de tempo. Realizam-se aqui, três atividades distintas:

- 1.** medição da energia elétrica consumida em cada instante;
- 2.** soma das energias consumidas durante um certo período de tempo;
- 3.** registro no totalizador do aparelho.

Trata-se aqui simplesmente de um processo de medida, integração e registro de uma entidade física, energia elétrica consumida na residência.

DEE/CT/UFC – 2010



Em linhas gerais e conclusivas, a “instrumentação” é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

DEE/CT/UFC – 2010

1.2 Por que automatizar

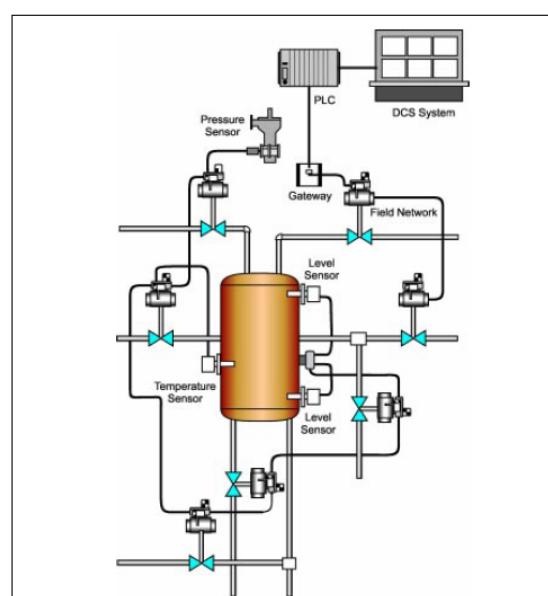
A utilização de instrumentos para controle automático de processo nos permite, incrementar e controlar a qualidade do produto, aumentar a produção e rendimento, obter e fornecer dados seguros da matéria-prima e da quantidade produzida, além de ter em mãos dados relativos à economia dos processos.

DEE/CT/UFC – 2010

As industrias atuais

Na atualidade, os industriais estão cada vez mais optando por automatizar as suas unidades/plantas, adquirindo sistemas eletrônicos microprocessador, tais como transmissores inteligentes, controladores, MultiLoop, controladores lógicos programáveis (CLP), Sistemas Digitais de Controle Distribuído, Sistemas Fieldbus. Já são encontrados, no mercado nacional, instrumentos com tecnologia consagrada (segurança intrínseca) capaz de fornecer uma alta performance operacional aliada à otimização de processos industriais. A seguir pode-se perceber este grau de integração.

DEE/CT/UFC – 2010



DEE/CT/UFC – 2010

1.3 Terminologia e Simbologia

As definições a seguir são conhecidas por todos que intervêm, diretamente ou indiretamente, no campo da instrumentação industrial, e têm como objetivo a promoção de uma mesma linguagem técnica.

RANGE (Faixa de medida): Conjunto de valores da variável analisada, compreendido dentro do limite inferior e superior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento. É expresso determinando-se os valores extremos.

Exemplo:

100 ~ 500°C; 0 ~ 20 psi; -30 ~ 30 mmca.

1 kPa = 1,019716 x 101 mmca (milímetro de coluna d'água)

DEE/CT/UFC – 2010

SPAN (Alcance): É a diferença algébrica entre o valor superior e inferior da faixa de medida do instrumento.

Exemplo: Um instrumento com range de 100 a 250°C, possui Span = 150°C

ERRO: Diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento, em relação real da variável medida. Se o processo ocorrer em regime permanente (que não varia ao longo do tempo), será chamado de **Erro Estático**, e poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento. Quando a variável alterasse, tem-se um atraso na transferência de energia do meio para o medidor, ou seja, o valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável. Esta diferença é chamada de **Erro Dinâmico**.

DEE/CT/UFC – 2010

PRECISÃO: Definida como o maior valor de erro estático que um instrumento possa ter ao longo de sua faixa de trabalho. É possível expressá-la de diversas maneiras:

- a) Em porcentagem do alcance (span).

Ex.: Um instrumento com range de 50 a 150°C está indicando 80°C e sua precisão é de $\pm 0,5\%$ do span.

$$80^{\circ}\text{C} \pm (0,5 / 100) \times 100^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$$

Portanto, a temperatura estará entre 79,5 e 80,5°C.

- b) Em unidade da variável.

Exemplo: Precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$

DEE/CT/UFC – 2010

- c) Em porcentagem do valor medido (para maioria dos indicadores de campo).

Ex.: Um instrumento com range de 50 a 150°C está indicando 80°C e sua precisão é de $\pm 0,5\%$ do valor medido.

$$80^{\circ}\text{C} \pm (0,5 / 100 \times 80^{\circ}\text{C}) = 80^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$$

Portanto, a temperatura estará entre 79,6 e 80,4°C.

Pode-se ter a precisão variando ao longo da escala de um instrumento, indicada pelo fabricante, então, em algumas faixas da escala do instrumento.

Exemplo:

Um manômetro pode ter uma precisão de $\pm 1\%$ em todo seu range e ter na faixa central uma precisão de $\pm 0,5\%$ do span.

DEE/CT/UFC – 2010

d) Em % do fundo de escala ou Span máximo:

$$80^{\circ}\text{C} \pm (0,5 / 100) \times 150^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C} \pm 0,75^{\circ}\text{C}$$

Observação: Quando o sistema de medição é composto de diversos equipamentos, admite-se que a precisão total da malha seja igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das precisões de cada equipamento.

Exemplo: Uma malha de instrumentação é constituída pelos seguintes instrumentos:

- Termopar, com precisão de $\pm 0,5\%$ do valor medido. Valor medido = $400^{\circ}\text{C} (\pm 2^{\circ}\text{C})$.
- Fio de Extensão, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Registrador, com escala de 0 a 800°C e precisão de $\pm 0,25\%$, portanto $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

$$\text{Precisão total da malha} = \pm \sqrt{2^2 + 1^2 + 2^2} = \pm \sqrt{9} = \pm 3^{\circ}\text{C}$$

DEE/CT/UFC – 2010

Zona Morta – É o maior valor de variação que o parâmetro medido possa alcançar, sem que provoque alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento (pode ser aplicado para faixa de valores absolutos do “range” do mesmo).

Está relacionada a folgas entre os elementos móveis do instrumento, como engrenagens.

Exemplo: Um instrumento com “range” de 0 a 200°C possui uma zona morta de $\pm 0,1\%$ do span

$$\pm 0,1\% = (0,1 / 100 \times 200) = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$$

Portanto, se a variável alterar em $0,2^{\circ}\text{C}$, o instrumento não apresentará resposta nenhuma.

DEE/CT/UFC – 2010

Sensibilidade: É a razão entre a variação do valor indicado ou transmitido por um instrumento e a da variável que o acionou, após ter alcançado o estado de repouso. Denota a capacidade de resolução do dispositivo.

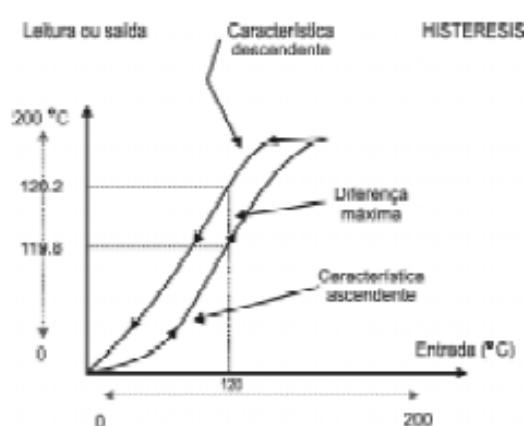
Exemplo: Um termômetro de vidro com “range” de 0 a 500°C, possui uma escala de leitura de 50 cm.

$$\text{Sensibilidade} = (50 / 500 \text{ cm})/\text{°C} = 0,1\text{cm}/\text{°C}$$

Histerese: É a diferença máxima apresentada por um instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala nos sentidos ascendente e descendente ou é o desvio porcentual máximo com o qual, para uma mesma variável (por exemplo vazão), uma indicação do valor instantâneo afasta-se do outro, dependendo de ter sido alcançado a partir de valores maiores ou menores.

Exemplo: Num instrumento com “range” de 0 a 200°C mostrado na Figura seguinte, a histerese é de 0,2%.

DEE/CT/UFC – 2010



DEE/CT/UFC – 2010

Repetibilidade: É o desvio porcentual máximo com o qual uma mesma medição é indicada, tomando-se todas as condições como exatamente reproduzidas de uma medida para outra.

Expressa-se em porcentagem do span.

Um instrumento com “range” de 0 a 1000 L/min, $\pm 0,1\%$ do span (o que corresponde a ± 1 L/min),

se a vazão real na primeira passagem ascendente for 750 L/min e o instrumento indicar 742 L/min, numa segunda passagem ascendente com vazão real de 750 L/min o instrumento indicará 742 ± 1 L/min.

Observar que o termo Repetibilidade não inclui a Histerese.

DEE/CT/UFC – 2010

Conformidade: É o desvio percentual máximo com o qual uma determinada variável se afasta da sua curva característica.

Reprodutibilidade: É a máxima diferença encontrada ao se aplicar um valor conhecido diversas vezes, em um dispositivo eletrônico pneumático ou mecânico.

DEE/CT/UFC – 2010

Simbologia de Instrumentação

Com o objetivo de simplificar e globalizar o entendimento dos documentos utilizados para representar as configurações das malhas de instrumentação, normas foram criadas em diversos países.

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através de sua norma NBR 8190, apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e suas funções ocupadas nas malhas de instrumentação.

Assim, devido a sua maior abrangência e atualização, uma das normas mais utilizadas em projetos industriais no Brasil é a estabelecida pela ISA (Instrument Society of America).

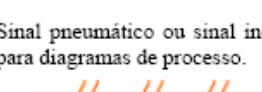
A seguir serão apresentadas, de forma resumida, as normas ABNT e ISA que serão utilizadas ao longo dos trabalhos de instrumentação.

DEE/CT/UFC – 2010

2.1 Simbologia Conforme Norma ABNT (NBR-8190)

2.1.1 Tipos de conexões

1. Conexão do processo, ligação mecânica ou suprimento ao instrumento.



2. Sinal pneumático ou sinal indefinido para diagramas de processo.



2. Sinal pneumático ou sinal indefinido para diagramas de processo.



3. Sinal elétrico.



4. Tubo capilar (sistema cheio).



5. Sinal hidráulico.



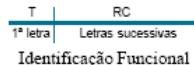
6. Sinal eletromagnético ou sônico (sem fios).



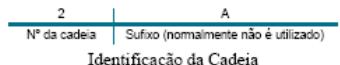
2.1.2 Código de Identificação de Instrumentos

Cada instrumento deve ser identificado com um sistema de letras que o classifique funcionalmente (Ver Tabela 1 a seguir).

Como exemplo, uma identificação representativa é a seguinte:



Identificação Funcional



Identificação da Cadeia

DEE/CT/UFC – 2010

Tabela 1 – Significado das letras de identificação

PRIMEIRA LETRA	LETROS SUBSEQUENTES				
	Variável Medida ou inicial (3)	Modificadores	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadores
A	Analizador (4)	-	Alarme	-	-
B	Chama de queimador		Indefinida	Indefinida (1)	Indefinida (1)
C	Condutividade elétrica	-	-	Controlador (12)	-
D	Densidade ou massa específica	Diferencial (3)	-	-	-
E	Tensão elétrica	-	Elemento primário	-	-
F	Vazio	Razão (fração) (3)	-	-	-
G	Medida dimensional	-	Víser (8)	-	Alto (6, 14, 15)
H	Comando Manual	-	-	-	-
I	Corrente elétrica	-	Indicador (9)	-	-
J	Potência	Várida ou Seletor (6)	-	-	-
L	Nível		Lâmpada Piloto (10)	-	Baixo (6, 14, 15)
M	Umidade				Médio ou intermediário (6, 14)
N(1)	Indefinida		Indefinida (1)	Indefinida (1)	Indefinida (1)
O	Indefinida (1)		Orifício de resfriado	-	-
P	Pressão ou vício		Ponto de teste	-	-
Q	Quantidade ou evento	Integrador ou totalizador (3)	-	-	-

DEE/CT/UFC – 2010

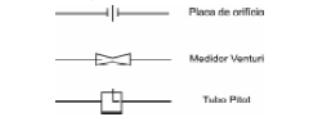
R	Radioatividade	-	Registrador ou impressor	-	-
S	Velocidade ou frequência	Segurança (7)		Chave (12)	-
T	Temperatura	-	-	Transmissor	-
U	Multivariável (5)	-	* Multifunção (11)	* Multifunção (11)	* Multifunção (11)
V	Viscosidade	-	-	Válvula (12)	-
W	Peso ou força	-	Poço	-	-
X (2)	Não classificada	-	Não classificada	Não classificada	Não classificada
Y	Indefinida (1)	-	-	Relé ou computação (11, 13)	-
Z	Posição	-	-	Elemento final de controle não classificado	-

DEE/CT/UFC – 2010

2.1.3 Símbologia de identificação de instrumentos de Campo e Painel



Instrumentação de Vazão



Válvula de Controle

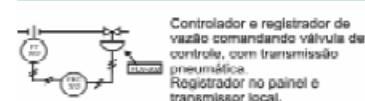
- Válvula com atuador pneumático de diafragma
- Válvula com atuador elétrico (senoidal ou motor)
- Válvula com atuador hidráulico ou pneumático tipo pistão
- Válvula manual
- Válvula auto-operada de diafragma

DEE/CT/UFC – 2010

2.1.4 Alguns Arranjos Típicos de Instrumentos

Vazão

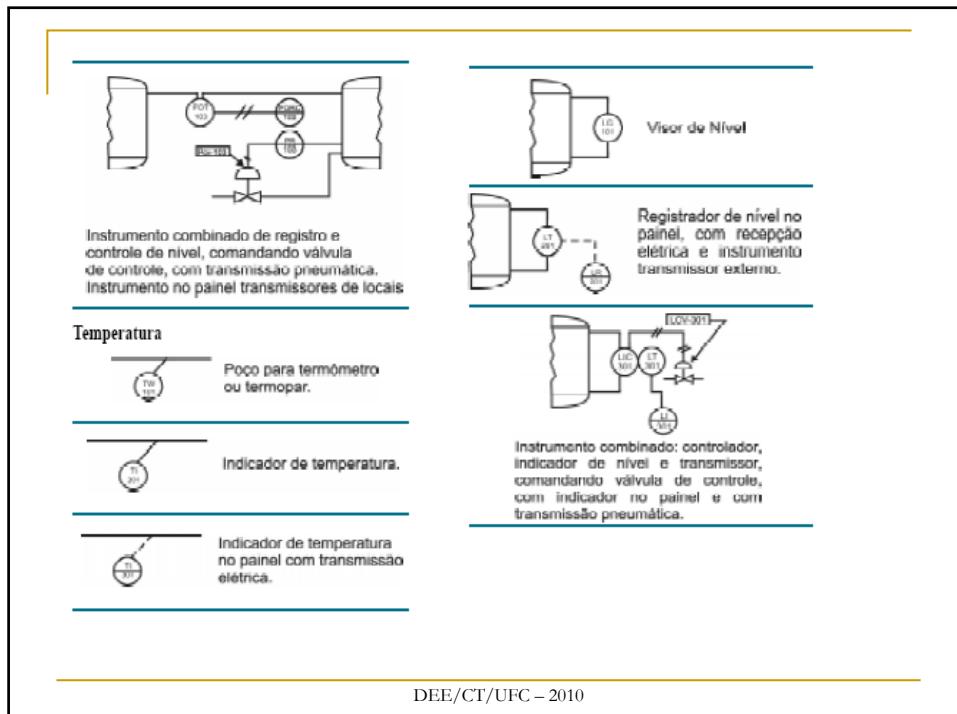
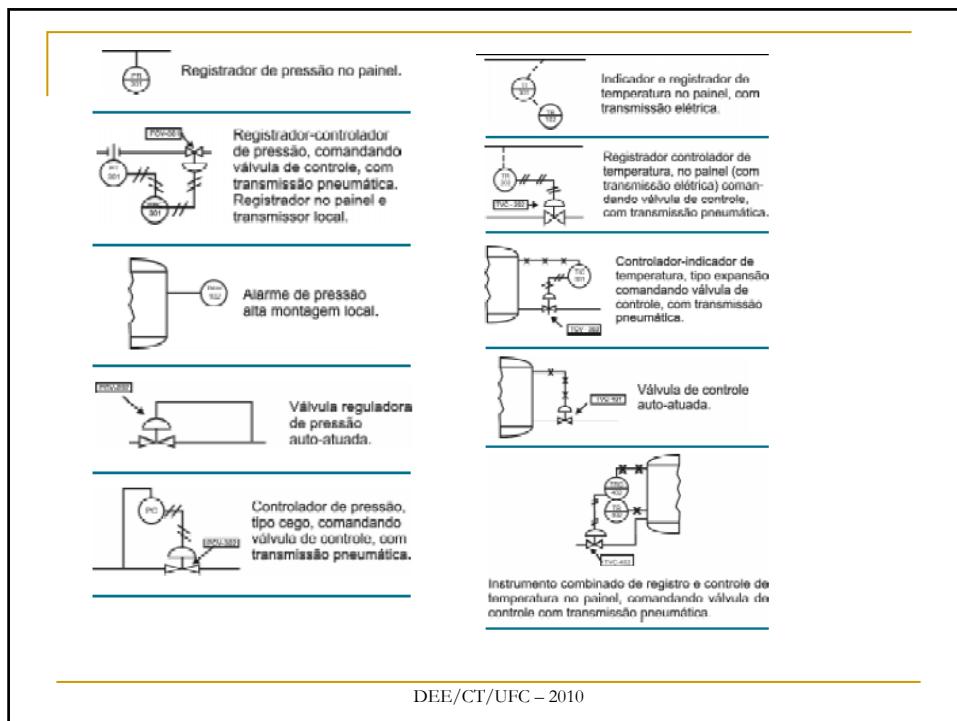
- Medidor de linha (Rotâmetro)
- Transmissor de vazão
- Indicador de vazão (montagem local)
- Registrador de linha
- Registrador montado no painel e transmissor local com transmissão pneumática.
- Registrador conectado a registrador de pressão (montagem local)

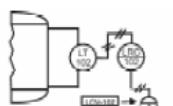


Pressão

- Indicador de pressão (manômetro) (montagem local)

DEE/CT/UFC – 2010

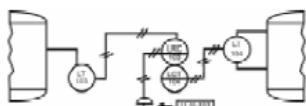




Controlador e registrador de nível comandando válvula de controle com transmissão pneumática. Controlador no painel transmissor local.



Alarme de nível baixo, montagem local, com sinalização no painel (transmissão elétrica).



Instrumento combinado de registro e controle de nível, comandando válvula de controle, com transmissão pneumática. Instrumento no painel transmissor de local.